

(19) 日本国特許庁 (J-P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-2526

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月6日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 C 19/56

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

G 0 1 P 9/04

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-156672

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月13日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 番 政広

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72) 発明者 紺野 伸嗣

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72) 発明者 平田 善明

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

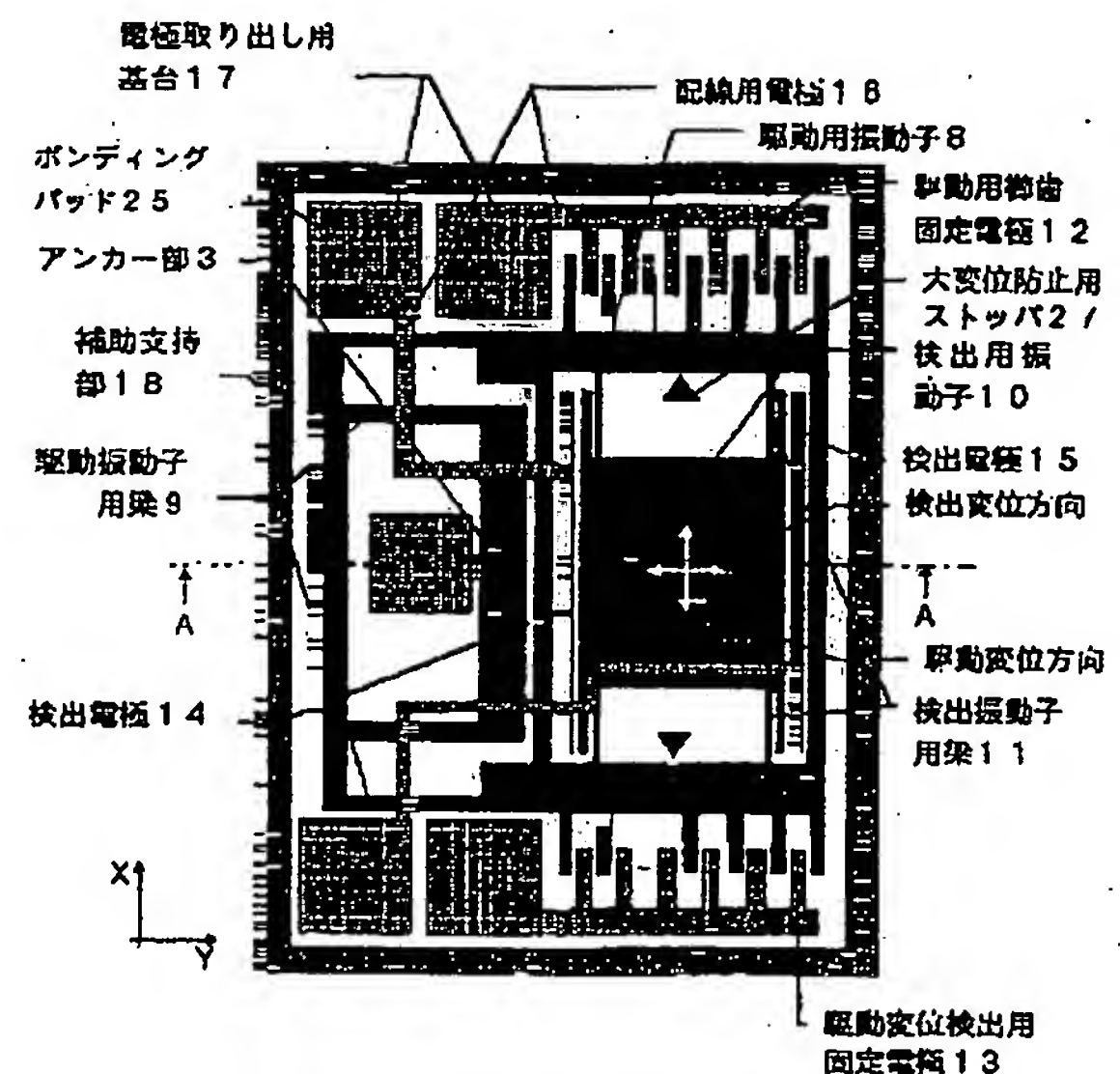
(74) 代理人 弁理士 宮田 金雄 (外2名)

(54) 【発明の名称】 振動型角速度センサ

(57) 【要約】

【課題】 検出変位感度の向上を図る。

【解決手段】 基板にアンカー部3で固定された第1の梁9によって支持され、駆動用櫛歯電極12によって基板に平行なX軸方向に駆動される駆動用振動子8と、前記駆動用振動子に第2の梁11によって支持され、前記基板に平行なY軸方向に振動可能な検出用振動子10と、前記検出用振動子との間に前記X軸方向に沿う間隙を隔てて設けられた静電容量の検出電極14、15とを備え、前記基板に垂直なZ軸方向を軸とする角速度を検出する。さらに前記駆動用振動子は前記検出用振動子に対して対称な位置に配置した2つのアンカー部により基板に固定されている。また前記検出電極は、その一方を検出用振動子に、他方を駆動用振動子に、等間隔の間隙を隔てて配置されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板にアンカー部で固定された第1の梁によって支持され、駆動用櫛歯電極によって基板に平行なX軸方向に駆動される駆動用振動子と、前記駆動用振動子に第2の梁によって支持され、前記基板に平行なY軸方向に振動可能な検出用振動子と、前記検出用振動子との間に前記X軸方向に沿う間隙を隔てて設けられた静電容量の検出電極とを備え、前記基板に垂直なZ軸方向を軸とする角速度を検出する振動型角速度センサ。

【請求項2】 前記駆動用振動子は前記検出用振動子に対して対称な位置に配置した2つのアンカー部により基板に固定されている請求項1記載の振動型角速度センサ。

【請求項3】 前記検出電極は、その一方を検出用振動子に、他方を駆動用振動子に、等間隔の間隙を隔てて配置されている請求項1記載の振動型角速度センサ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ジャイロの性質を利用した振動型角速度センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】運動する物体の角速度などを検出するセンサには、近年、特に半導体のマイクロマシニング技術を利用して作製されたものが注目を集めている。これらは、装置の小型化、量産性、高精度化および高信頼性などの長所をもつ。

【0003】図6は、例えば、刊行物('MICROMECHANICAL TUNING FORK GYROSCOPE TEST RESULTS' M.Weinberg 他、AIAA-94-3687-CP)に記載された半導体のマイクロマシニングプロセスを用いて作成された典型的な振動型ジャイロを示し、(a)は平面図、(b)は(a)のB-B線断面図である。基板1上に2つの振動子2がアンカー部3を通して梁4で支持された構造となっている。その振動子2の下基板1上には、変位検出電極7がガラスもしくはシリコン上に形成されており、振動子2と変位検出電極7とで図7に示すコンデンサC1、C2を形成している。左右の振動子2のX軸(面内方向)方向の励振は、駆動用櫛歯電極5にDC電圧とAC電圧を加えることによって行われる。互いに位相の180度ずれた逆位相を振動系の共振点において実現するためにいわゆる音叉駆動が採用されている。それぞれの振動子2に面して、これらの駆動される振動子2の振動をモニターするために駆動変位検出用固定電極6が設けられている。

【0004】さて、±X方向(基板面内方向)に逆位相で励振された左右の振動子2にY軸周りの角速度 $\Omega$ が作用すると、各振動子2は、Z軸(基板面外)方向に、振動子2の質量 $m$ 、速度 $v$ と角速度 $\Omega$ に比例した慣性力(コリオリ力)を受ける。この慣性力によって、Z軸を中心としたねじれ振動が誘起される。ねじれ振動による

振動子2のZ方向変位によって、振動子2と変位検出電極7間の容量値が一方の振動子2で増加( $C1 + \Delta C1$ )、他方で減少( $C2 - \Delta C2$ )する。この静電容量変化をC-V変換器により電圧に変換して、コリオリ力の作用周波数にて同期検波することで、角速度 $\Omega$ に比例したセンサ出力を得ることができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記の従来の方式では、振動子2励振の振幅を大きくとり、さらに検出方向変位感度を向上させるために、何れの方の振動に於いても大きな振動の特性値Qを必要とする。例えば、上記従来例では、圧力100mtorrにて励振方向Q値は40000、検出方向Q値は5000が報告されている。特に検出変位方向は、振動子2と下部電極7との対向面積が大きく、ギャップ(間隔)が小さい(数ミクロンオーダー)ため、いわゆるスクイズダンピングによりQ値が駆動方向振動に対して小さい。一方、大気圧下では、Q値が低下するため、同程度の駆動変位を得るには、DC電圧30V、AC電圧30Vという大きな電圧を必要としている。

【0006】この様に、従来例では、駆動電圧の低電圧化と検出変位感度の向上のために、必然的にセンサ素子を真空封止する必要があった。このため、気密真空パッケージングが必要となり、その信頼性確保のために、メタルパッケージが必要となる等コスト高となってしまうという欠点があったまた、大気圧下で利用するとしても、高駆動電圧が必要となり、検出振動方向としてZ軸方向を採用した構造になっているため、前述した様に励振方向のQ値に比較して検出方向振動のQ値が低いといった問題があり、駆動電圧を高めるのみでは十分な検出感度が達成できないといった問題がある。

【0007】さらに、振動型ジャイロでは、一般的にその周波数特性を確保する意味で、駆動振動と検出振動の共振点を若干ずらす必要があるが、Z軸方向の変位振動の共振周波数は、その構造体の厚みに依存するため、精密な厚み制御を行う必要がある。半導体のフォトリソグラフィを利用してセンサ素子を作製する場合は、平面内のパターンニング精度は良いが、厚み方向の制御(エッチング制御等)が難しく、両者の共振周波数を適切に設定することが困難であるという問題点があった。

【0008】本発明は上記のような従来のものの問題点を解消するためになされたものであり、検出変位感度の向上を目的としたものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の構成による振動型角速度センサは、基板にアンカー部で固定された第1の梁によって支持され、駆動用櫛歯電極によって基板に平行なX軸方向に駆動される駆動用振動子と、前記駆動用振動子に第2の梁によって支持され、前記基板に平行なY軸方向に振動可能な検出用振動子と、前記検

出用振動子との間に前記X軸方向に沿う間隙を隔てて設けられた静電容量の検出電極とを備え、前記基板に垂直なZ軸方向を軸とする角速度を検出するものである。

【0010】本発明の第2の構成による振動型角速度センサは、第1の構成に加えて、前記駆動用振動子は前記検出用振動子に対して対称な位置に配置した2つのアンカー部により基板に固定されているものである。

【0011】本発明の第3の構成による振動型角速度センサは、第1の構成に加えて、前記検出電極は、その一方を検出用振動子に、他方を駆動用振動子に、等間隔の間隙を隔てて配置されているものである。

【0012】

【発明の実施の形態】

実施の形態1. 図1、図2は共に本発明の実施の形態1による振動型角速度センサを示し、図1は平面図、図2は図1のA-A線断面図である。駆動用振動子8が第1の梁である駆動振動子用梁9（折り曲げ梁）で支持され、アンカー部3を通じて下部ガラス基板19に固定されている。駆動用振動子8の内側にはY方向コリオリ力検出用の検出用振動子10が、第2の梁である検出振動子用の4本の梁11で支持されている。駆動用振動子8のある側面に対向して駆動用櫛歯固定電極12及び駆動変位検出用固定電極13が形成されており、これら電極12、13の櫛歯に対向して駆動用振動子8にもそれぞれ櫛歯電極構造が作られる。一方、検出用振動子10の両側にはそれぞれ数ミクロンのギャップを隔てて、静電容量の検出電極14、15が形成されており、検出用振動子10とこれら電極14、15との間で、コンデンサC1、C2が形成される。これらコンデンサC1、C2で、図7に示した等価回路が形成される。各電極とアンカー部3は、下部ガラス基板19上に設けられた配線用電極16により、各電極取り出し用基台17に結合されている。これら電極取り出し用基台17上には、ボンディングパッド25が形成されている。駆動用振動子8と検出用振動子10の間には、落下衝撃時等によるX軸方向の過大変位を防止するために、大変位防止用ストッパ27が設けられている。この大変位防止用ストッパ27は、X軸方向の正、負何れかの方向の大変位をも制限するために、駆動用振動子8と検出用振動子10の間で検出用振動子10の両側の位置に、駆動用振動子8側に制限したい変位量のギャップ間隔を隔てて設置する。また、駆動用振動子8や検出用振動子10等これら各部品を囲む様に補助支持部18が設けられている。好ましくは、これら振動子8、10と電極取り出し用基台17、ストッパ27及び各電極12～16は半導体のSiを材料としてバルクマイクロマシニングで作製されており、図2の断面図に示す様に振動子8、10はアンカー部3に於いてのみ下部ガラス基板19に陽極接合され、それ以外のパーツは下部ガラス基板19に面する全面或いは一部が下部ガラス基板19に陽極接合されている。

【0013】このような構成において、駆動用振動子8をX方向に励振駆動すると、検出用振動子10のY方向の振動により、Z方向を軸とする角速度を検出することができる。

【0014】なお、図1に於いては、駆動用振動子8が駆動振動子用の梁9を通じて1カ所のアンカー3で支えられた、非対称の片持構造を採用した例を示したが（梁9やアンカー部3が検出用振動子10の左側のみ）、検出用振動子10の右側に左側と同一の対称構造を設け、同様の梁とアンカー部を設けた、2点支持構造を採用することも可能である。この検出用振動子10を対称中心とする2点支持構造では検出用振動子10に対する駆動振動の方向を正確にX方向のみとすることができる利点がある。このため大振幅の駆動が可能となり検出感度を向上させることができる。

【0015】また、検出電極14、15は検出用振動子10の左右にそれぞれ数 $\mu\text{m}$ のギャップを隔てて配置されており、一方、これらの検出電極14、15は、駆動用振動子8とのギャップに関しても、同じ値を有するように配置されている。これは、駆動による検出用振動子10の振動方向が純粋にX方向に一致しない場合でも、検出電極14、15に不要な容量変化が生じないようにするためである。検出電極14、15は、その両側を等間隔で駆動用振動子8と検出用振動子10に挟まれているため、両者が一体となって振動する場合は、検出電極14、15の両側の静電容量の和は変わらない。従って検出電極14、15の静電容量は検出用振動子10のY方向の振動のみを検出する指標となる。

【0016】次に、製造方法について説明する。図3(a)～(e)は本実施の形態の製造方法の一例を工程順に示す図であり、図1のA-A線断面に対応した図である。まず、(a)に示すように、(100)Si基板100を用い、レジスト若しくは絶縁膜24をマスクに3～100 $\mu\text{m}$ の深さの溝をドライエッチングにて作製する。その後、(b)に示すように、ウエハ100を裏返し、この面を同様にレジスト若しくは絶縁膜24をマスクとして3 $\mu\text{m}$ 程度ドライエッチングを行う。一方、ガラス基板19上には金属電極16（例えばCr/Au）をスパッタ及びリフトオフ手法等を用いて作製する。(b)で示した工程にてできあがったウエハ100のマスクを除去し、上記電極配線16を有するガラス基板19とアライメント後、陽極接合を行い、その後ボンディングパッド25を形成する。この後、レジストまたは絶縁膜24を用いて、図1の平面構造をパターンニングする(c)。次に、このレジストまたは絶縁膜24をマスクとしてシリコンウエハの貫通ドライエッチングを行う(d)。この段階で、センサの基本的構造が決定される。(e)で示す工程では、上部ガラス基板20をアライメントして陽極接合し、検出回路ASIC26をダイボンドし、これと、ボンディングパッド25とをワイヤ



ボンドする。以上のプロセスで、センサが完成する。

【0017】上記のように本実施の形態では、駆動と検出の振動方向を何れもX-Y平面内としたため、パターニングとエッチングの製作誤差の影響が共通したものとなり、駆動と検出の共振周波数を精度良く、歩留まり良く決めることが可能となる。また、駆動と検出に関わるそれぞれの振動梁9と11を独立して設けているため、駆動振動と検出振動に同一の梁を利用する場合に比較して、駆動と検出のメカニカルなカップリングを抑えることができるといった特徴がある。また、ディープドライエッチングを利用したバルクマイクロマシニング手法によってハイアスペクト（梁のZ方向厚み $h$ 、梁の幅 $w$ で定義される $h/w$ の値が1に対して大きい）な構造体を作製できるので、Z軸方向の構造体の剛性を面内方向のそれに比較して大きく設定できるため、振動子の面内の大きさを大きくとることが可能となり、これに伴い、駆動用静電力を発生させる櫛歯電極の数を多くとる（櫛歯電極の数は、単純に駆動変位に比例する）ことが可能となる。以上のことから、駆動変位の増幅機能及び櫛歯電極の数を大きくすることが可能な構成であるため、大気圧下で振動のQ値が低くても、駆動変位を大きくとることができ、感度の高い振動型角速度センサを提供できる。また本プロセスによって作製されるガラス-Si-ガラスの3層構造によって、プロセス上で内部センサ構造をハーメチックシーリング（気密封止）可能であるため、あらたな金属パッケージングを必要としない。

【0018】実施の形態2。図4に本発明の実施の形態2による振動型角速度センサの構成を示す。本実施の形態では、振動子の駆動振動の共振点に於ける変位量を増幅するため、1自由度系の振動子に対して、上記振動子に連結して新たに振動子を設け、これら振動子にも駆動力を発生させる機構を設け、適切な形状寸法の梁で連結した2自由度振動系を構成した。基本構造は実施の形態1と共通しているが、駆動振動の発生機構を駆動振動子用の梁9の左側にも作製し、駆動力ひいては駆動変位量の増大を図った構造を示すものであり、第1、第2の駆動用櫛歯固定電極12、21により駆動変位を大きくできる構成である。この結果、駆動変位量を大きくできることから、コリオリ力検出用の振動子10の変位感度も大きく、感度の高い振動型角速度センサを提供できる。なお、本実施の形態では第2の駆動用櫛歯固定電極21によりX軸方向の正方向のみに駆動引力を発生させる構成を示したが、負方向へ作用する構成または、その混合の構成を採用してもよい。また、実施の形態1でも記述したが検出用振動子10の右側に左側と対称な構造を採用し2点支持構成としてもよい。

【0019】実施の形態3。図5に本発明の実施の形態3による振動型角速度センサの構成を示す。基本構造は実施の形態1と共通しているが、検出用振動子10の内部をくりぬいて、その中に検出用振動子10のX軸方向

の中心に上下対称に図に示すようにいくつかの新たな第2の検出電極22、23を作り込むことも可能である。なお、検出電極の初期容量値とその変化量を大きくするために、第2の検出電極22は第1の検出電極14に電気的に接続し、第2の検出電極23は、第1の検出電極15に接続してもよい。また、第2の検出電極22、23はコリオリ力によって発生するY軸方向変位を相殺するように静電力を発生させる静電力用フィードバック電極として利用しても良い。また、実施の形態1でも記述したが、検出用振動子10の右側に左側と対称な構造を採用し2点支持構成としてもよい。さらに、実施の形態2で記述したように、駆動力を増幅するための新たな第2の駆動用櫛歯固定電極を設けてもよい。また、上記新たに設けた第2の検出電極22、23のいくつかを、セルフアクチュエーション用（チェック時の検出用振動子10の駆動用）電極として利用し、例えばセンサ始動時に検出方向に確実に変位するかどうかのチェックを検出用振動子10と当該検出電極間の静電引力を利用して行うことが可能である。

【0020】

【発明の効果】以上のように、本発明の第1の構成によれば、基板にアンカー部で固定された第1の梁によって支持され、駆動用櫛歯電極によって基板に平行なX軸方向に駆動される駆動用振動子と、前記駆動用振動子に第2の梁によって支持され、前記基板に平行なY軸方向に振動可能な検出用振動子と、前記検出用振動子との間に前記X軸方向に沿う間隙を隔てて設けられた静電容量の検出電極とを備え、前記基板に垂直なZ軸方向を軸とする角速度を検出するので、駆動変位を大きくし、角速度によって生じるコリオリ力を増大し、感度を向上させることが可能となる。そのため、高い振動のQ値を必要とせず、従来必要とされた様に、センサを真空下に封じこめる必要が無く、簡単なハーメチックパッケージを利用することが可能となり、コストを低減できる。

【0021】また、本発明の第2の構成によれば、第1の構成に加えて、前記駆動用振動子は前記検出用振動子に対して対称な位置に配置した2つのアンカー部により基板に固定されているので、検出用振動子に対する駆動振動の方向を正確にX方向のみとすることができ、このため大振幅の駆動が可能となり検出感度を向上させることができる。

【0022】さらに、本発明の第3の構成によれば、第1の構成に加えて、前記検出電極は、その一方を検出用振動子に、他方を駆動用振動子に、等間隔の間隙を隔てて配置されているので、駆動による検出用振動子の振動方向が純粋にX方向に一致しない場合でも、検出電極に不要な容量変化が生じないようにでき、駆動変位には不感で、コリオリ力による変位のみを検出できる振動型角速度センサが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1による振動型角速度センサの構成を示す平面図である。

【図2】 図1のA-A線断面図である。

【図3】 本発明の実施の形態1に係わる振動型角速度センサの製造プロセスを工程順に示す断面図である。

【図4】 本発明の実施の形態2による振動型角速度センサの構成を示す平面図である。

【図5】 本発明の実施の形態3による振動型角速度センサの構成を示す平面図である。

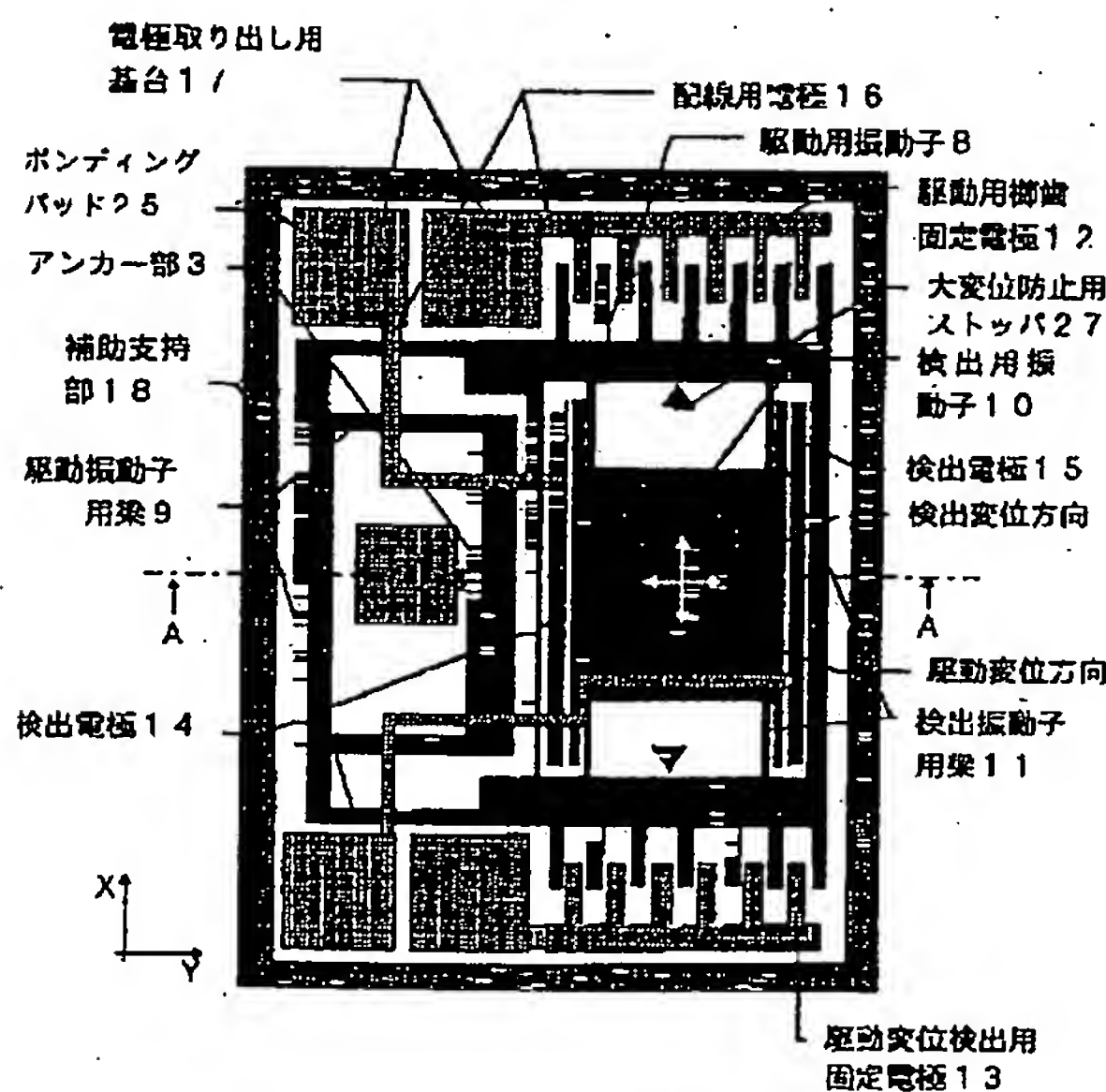
【図6】 従来の振動型角速度センサの一例の構成を説明する図であり、(a)は平面図、(b)は(a)のB-B線断面図である。

【図7】 従来の振動型角速度センサの検出側等価回路を示す図である。

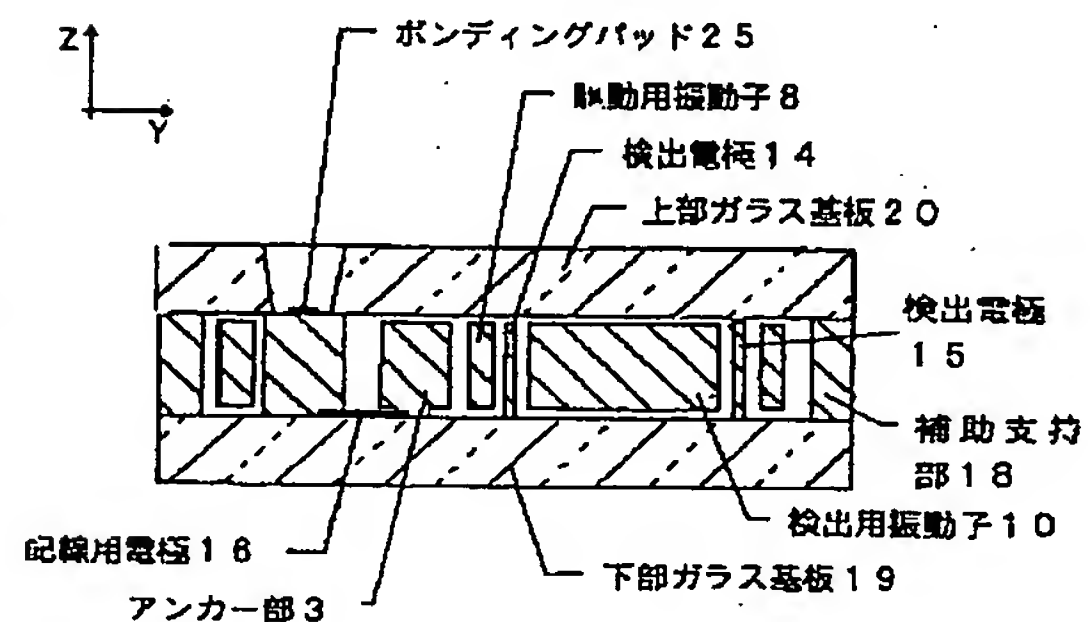
# 【符号の説明】

1 基板、2 振動子、3 アンカー部、4 梁、5 駆動用櫛歯固定電極、6 駆動変位検出用櫛歯固定電極、7 変位検出電極、8 駆動用振動子、9 駆動振動子用梁、10 検出用振動子、11 検出振動子用梁、12 第1の駆動用櫛歯固定電極、13 駆動変位検出用固定電極、14、15 第1の検出電極、16 配線用電極、17 電極取り出し基台、18 補助支持部、19 下部ガラス基板、20 上部ガラス基板、21 第2の駆動用櫛歯固定電極、22、23 第2の検出電極、24 レジスト又は絶縁膜、25 ボンディングパッド、26 ASIC、27 大変位防止用ストッパ。

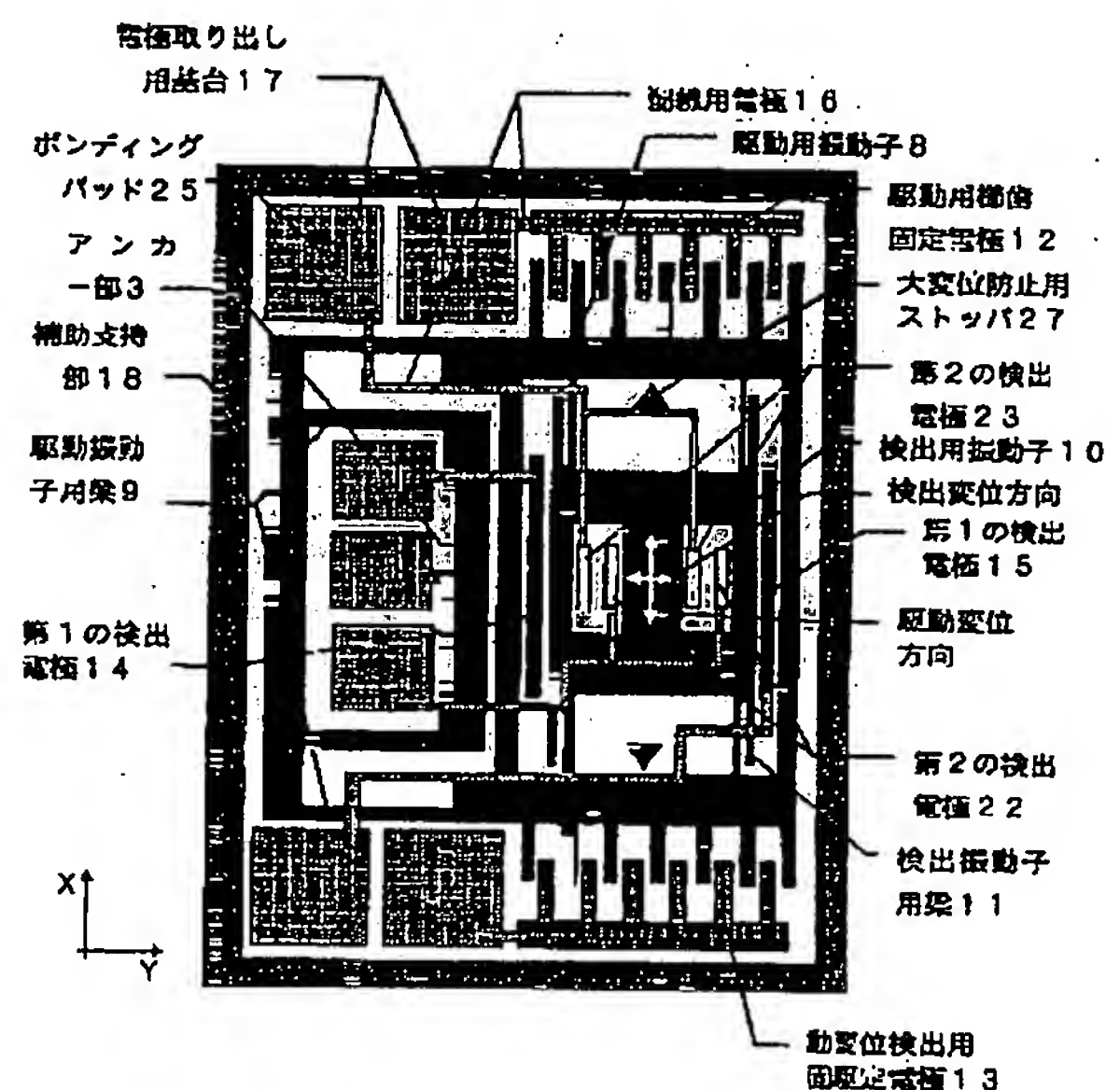
【図1】



【図2】



【図5】



【図7】

